

Wärmeübertragung I

8. Übung (Stationäre Wärmeleitung)

1. Aufgabe

Die ebene Wand eines Industrieofens besteht aus einer Ausmauerung von hitzebeständigen Siliciumkarbid-Steinen (Schicht 1), wärmeisolierenden Schamottesteinen (Schicht 2) und einer Stahlplatte (Schicht 3). Die Temperatur im Ofen beträgt $T_i = 1400\text{ °C}$. Die Umgebungstemperatur beträgt $T_a = 20\text{ °C}$.

- Berechnen Sie den Wärmeverlust des Ofens pro m^2 Wandfläche.
- Macht man bei der Berechnung des Wärmeverlustes einen Fehler, wenn man die mittlere Wärmeleitfähigkeit der Schamotteschicht mit dem arithmetischen Mittel der Randtemperaturen ($\bar{T}_2 = \frac{(T_{2i} + T_{2a})}{2}$) dieser Schicht berechnet?
- Ist die Temperatur in der Mitte der Schamotteschicht (bei $s_2/2$) größer, kleiner oder gleich dem arithmetischen Mittelwert der Randtemperaturen dieser Schicht?

Begründen Sie die Antworten zu b) und c)!

Hinweis zu a):

Schätzen Sie zunächst die mittlere Temperatur der Schamotteschicht \bar{T}_2 und berechnen Sie $\bar{\lambda}_2 = \lambda_2(\bar{T}_2)$. Damit erhalten Sie eine erste Näherung für den Wärmeverlust pro Fläche $\dot{q}^{(1)}$, die Sie iterativ (durch Nachrechnen der mittleren Wärmeleitfähigkeit $\bar{\lambda}_2$ der Schamotteschicht) verbessern können. Zwei bis drei Iterationsschritte genügen.

Daten:

Dicke Schicht 1 (Siliciumkarbid)	$s_1 = 150\text{ mm}$
Dicke Schicht 2 (Schamotte)	$s_2 = 300\text{ mm}$
Dicke Schicht 3 (Stahl)	$s_3 = 10\text{ mm}$
Wärmeleitfähigkeit Schicht 1 (konst. für $600\text{ °C} - 1400\text{ °C}$)	$\lambda_1 = 4 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$
Wärmeleitfähigkeit Schicht 2 (linear für $0\text{ °C} - 1400\text{ °C}$)	$\lambda_2 = \left(0,5 + \frac{T[\text{°C}]}{2200}\right) \frac{\text{W}}{\text{m K}}$
Wärmeleitfähigkeit Schicht 3 (konst. für $20\text{ °C} - 600\text{ °C}$)	$\lambda_3 = 20 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$
Wärmeübergangskoeffizient Feuerraum – Innenwand:	$\alpha_i = 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$
Wärmeübergangskoeffizient Stahlplatte – Umgebung:	$\alpha_a = 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$

2. Aufgabe

Berechnen Sie die Erstarrungszeit von Wassertropfen in ruhender Luft (gilt mit guter Näherung auch für frei fallende Tropfen, wenn der Tropfendurchmesser und damit auch die Fallgeschwindigkeit hinreichend klein sind).

Der Tropfen habe schon zu Beginn des Vorgangs eine Temperatur von $T_{T,0} = 0 \text{ °C}$.

Die Wärmekapazität der bereits erstarrten Kugelschale und die Dichteänderung bei der Phasenumwandlung sollen vernachlässigt werden. Man kann dann annehmen, dass sich in jedem Augenblick ein Temperaturprofil einstellt, wie es im stationären Fall vorliegen würde („quasistationäre Näherung“).

Daten:

Temperatur Luft

$$T_{\infty} = -10 \text{ °C}$$

Wärmeleitfähigkeit Luft

$$\lambda_L = 0,022 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

Dichte Wasser

$$\rho = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Wärmeleitfähigkeit Eis

$$\lambda_E = 2,2 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

Schmelzenthalpie

$$\Delta h_S = 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Tropfendurchmesser (zu variieren)

$$d = 1 \text{ mm}$$

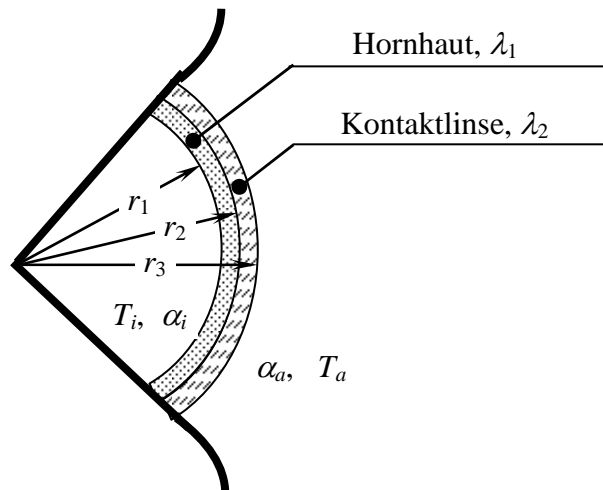
$$d = 0,5 \text{ mm}$$

$$d = 0,2 \text{ mm}$$

$$d = 0,1 \text{ mm}$$

3. Aufgabe (Klausuraufgabe)

Der Wärmeverlust aus dem Augennern durch die Hornhaut an die Umgebung hängt in starkem Maße davon ab, ob man eine Kontaktlinse trägt oder nicht. Betrachten Sie das Auge als kugelförmig und nehmen Sie stationäre Zustände an. Hornhaut und Linse bedecken $1/6$ der Kugeloberfläche. Der äußere Wärmeübergangskoeffizient α_a sei unabhängig davon, ob eine Kontaktlinse getragen wird oder nicht.



Berechnen Sie den Wärmeverlust aus dem Augennern mit und ohne Kontaktlinse und vergleichen Sie die Ergebnisse miteinander.

Erklären Sie das Ergebnis dieses Vergleichs in Worten.

Daten:

Innenradius Hornhaut	$r_1 = 10,2 \text{ mm}$
Innenradius Kontaktlinse (= Außenradius Hornhaut)	$r_2 = 12,7 \text{ mm}$
Außenradius Kontaktlinse	$r_3 = 16,5 \text{ mm}$
Wärmeleitfähigkeit Hornhaut	$\lambda_1 = 0,35 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$
Wärmeleitfähigkeit Kontaktlinse	$\lambda_2 = 0,8 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$
Temperatur Auge	$T_i = 37 \text{ °C}$
Wärmeübergangskoeffizient Auginneres – Hornhaut	$\alpha_i = 12 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$
Temperatur der Umgebung	$T_a = 21 \text{ °C}$
Wärmeübergangskoeffizient Auge – Luft	$\alpha_a = 6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$